

Rec'd PCT/PTO 31 JAN 2005



10/522908
REC'D 17 SEP 2003
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

102 34 594.5

Anmeldetag:

30. Juli 2002

Anmelder/Inhaber:

DaimlerChrysler AG,
Stuttgart/DE

Bezeichnung:

Generator/Motor-System und Verfahren zum
Betreiben dieses Generator/Motor-Systems

IPC:

H 02 P, F 02 N

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
im Auftrag

Sieg

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Best Available Copy

DaimlerChrysler AG

Gmeiner

26.07.2002

Generator/Motor-System und Verfahren zum Betreiben dieses Generator/Motor-Systems

5 Die Erfindung betrifft ein Generator/Motor-System nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie ein Verfahren zum Betreiben dieses Generator/Motor-Systems.

10 Derzeit wird in Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor eine Vereinigung von Starter und Generator zu einer einzigen elektrischen Maschine angestrebt.

15 Jedoch besteht bei diesen Bemühungen bereits im Grobentwurf dahingehend ein Problem, dass zwei völlig gegenläufigen Forderungen entsprochen werden muss.

20 Zum einen muss zum Starten und Hochbeschleunigen eines Verbrennungsmotors ein extrem hohes Durchdreh-Drehmoment aufgebracht werden. Dieses Drehmoment kann, je nach Hubraum bzw. Zylinderzahl des Verbrennungsmotors, größer als 240 Nm sein. Darüber hinaus muss die elektrische Maschine noch Drehmoment-Reserven für die Beschleunigung des Verbrennungsmotors auf Startdrehzahl aufbieten können.

25 Zum anderen soll, nach erfolgreichem Start des Verbrennungsmotors, die als Starter/Generator konzipierte elektrische Maschine vornehmlich als Generator arbeiten, um in das Bordnetz des Kraftfahrzeugs einzuspeisen. Dabei hat man die Forderung nach konstanter Leistungsabgabe über dem, vom Verbrennungsmo-

tor vorgegebenen, extrem gespreizten Drehzahlbereich von 600 bis 6000 1/min (Motor) bei möglichst hohem Wirkungsgrad.

Beide Forderungen lassen sich mit einem Standardantrieb bestehend aus dreisträngiger Drehfeldmaschine 30 und spannungseinprägendem Pulswechselrichter (PRW) 31 in Drehstrombrückenschaltung mit Filterkondensator C, wie in Fig. 3A gezeigt, kaum wirtschaftlich darstellen.

Ein Problem, das es hierbei zu überwinden gilt, ist die notwendige Miniaturisierung und komplette Integration der Leistungselektronik. Einer Integration stehen die notwendigen Filterkondensatoren im Wege. Insbesondere bei der relativ niedrigen Bordnetzspannung von 42V sind derzeit bei Asynchronmaschinen Phasenströme von ca. 1200 A im Gespräch, um die geforderten Startmomente zu erzeugen. Die Zwischenkreiskondensatoren C, wie beispielsweise in Fig. 3A gezeigt, die den Aufbau einer herkömmlichen Antriebsanlage mit Drehfeldmaschine 30, Pulswechselrichter 31 und Zwischenkreiskondensator C zeigen, nehmen hier beträchtliche Ausmaße an, die einer Integration im Wege stehen.

Darüber hinaus haben erste Messungen im Absorberraum gezeigt, dass hier keine Kompromisse gemacht werden können. Die Filterung ist notwendig, um die harten EMV-Bestimmungen bei Kraftfahrzeugen zu erfüllen. Gebot ist, die Ströme der Maschine zu verringern und damit die Filterströme, bei gleichbleibenden sonstigen Eigenschaften des Antriebs.

Herkömmlich geschieht die Auslegung des Antriebssystems mit Drehfeldmaschine und Pulswechselrichter wie folgt und unter Bezugnahme auf Fig. 3B beschrieben.

Fig. 3B zeigt eine herkömmliche Drehzahl-Drehmoment-Charakteristik. Die durchgezogene Linie in Fig. 3B zeigt, was mit einer bestimmten Auslegung der Drehfeld-Maschine und einer zugehörigen Pulswechselrichter-Leistung erreichbar ist.

Soll z.B. das Startmoment unter Beibehaltung der Standard-Pulswechselrichter-Topologie, d.h. einem Pulswechselrichter in Sechspulsbrückenschaltung, und Beibehaltung der Pulswechselrichter-(Schein)-Leistung vergrößert werden, so muss die
5 Wicklung der Drehfeld-Maschine entsprechend abgeändert werden. Im einfachsten Fall werden mehr Windungen mit dünneren Drähten ausgeführt. Dies führt zur gestrichelt eingezeichneten Kennlinie in Fig. 3B. Es ist zu erkennen, dass diese Maßnahme zwar bei unveränderter Pulswechselrichter-Leistung das
10 Startmoment anheben kann, jedoch nur auf Kosten der Generator-Leistung bei höheren Drehzahlen. Der Auslegungspunkt senkt sich dementsprechend ab. Aufgrund der höheren Windungszahl erreicht die Drehfeld-Maschine ihren Feldschwächbetrieb, d.h. die Pulswechselrichter-Aussteuergrenze, früher und kann
15 später bei Generatorbetrieb weniger Leistung abgeben.

Insbesondere bei Kraftfahrzeug-Anwendungen und speziell Starter-Generator-Anordnungen spielen zudem die Kosten für den Pulswechselrichter eine entscheidende Rolle. Die Kosten eines
20 Pulswechselrichters werden heute nicht mehr so sehr nach der Stromstärke bewertet, die der Pulswechselrichter tragen muss, sondern nach derjenigen Stromstärke, die in der Topologie zu kommutieren ist. Diese Kenngröße bestimmt den Filteraufwand, welcher im besonders EMV-sensiblen Bereich der Automobilindustrie in besonderem Maße zu Buche schlägt. Die Filter stehen außerdem einer Miniaturisierung im Wege, weiterhin sind es vor allem auch die Zuverlässigkeitssprobleme bei hohen Temperaturen. Daher muss versucht werden, die Leistungselektronik in der Antriebsschaltung so effizient wie möglich zu gestalten, insbesondere die zu kommutierenden Ströme abzusenko
25
30
35

In M. Osama, T.A. Lipo „Modeling and Analysis of a Wide-Speed-Range Induction Motor Drive Based on Electronic Pole Changing“, IEEE Transactions on Industry Application, Vol. 33, Nr. 5, September/Oktober 1997 ist eine polumschaltbare Drehfeld-Maschine mit zwei Wicklungssystemen und zwei ge-

trennten Pulswechselrichtern beschrieben. In der speziellen Kombination der Wicklungssysteme ergeben sich aber suboptimale Wicklungsfaktoren, so dass die Drehfeld-Maschine für eine gegebene Baugröße des Pulswechselrichters den maximal möglichen 5 Pulswechselrichterstrom nicht optimal in Drehmoment umsetzen kann. Das dynamische Verhalten bei Umschaltung der Drehfeld-Maschine ist nicht ohne entsprechende Drehmoment-Transiente möglich, was im Triebstrang besondere Probleme 10 aufwerfen kann, was zu Komforteinbussen für den Benutzer führen kann. Ein ähnliches Problem hat auch die seit langem bekannte Dahlanderschaltung.

In DE 199 31 010 A1 ist ein an sich bekannte, sogenannte „Diode-Clamp Double-Three-Level Converter“ durch ein neuartiges 15 Pulsverfahren derart angesteuert, dass man eine Seriell/Parallel-Umschaltung der beiden Wicklungssysteme herbeiführen kann. Hierbei bleibt die Polzahl der Drehfeld-Maschine beim Umschalten erhalten. Da die Umschaltung durch andere Vorgabe der Spannungszeiger bewirkt wird, geht die Umschaltung auch geräuschlos und ohne Drehmoment-Transiente von 20 statt. Die Wicklungssysteme können zudem noch in der Phase „geschwenkt“ werden, so dass eine weitere, signifikante Reduktion des zu filternden Zwischenkreisstromes erreicht werden kann. Obwohl technisch am weitesten entwickelt, ist dieses 25 Systems jedoch sehr aufwendig und kostenintensiv.

Daher wäre ein System mit einem Einspeise-Stromrichter und einem Maschinen-Stromrichter, also einem echten Umrichter besser geeignet, da dann eine größere Flexibilität erreicht 30 werden kann. Ein derartiger echter Umrichter ist beispielsweise in L. Sack „Reduction of Losses in the DC-Link Capacitor of Two-Stage Self-Commutated Converters“, Proceedings of the EPE '99, Lausanne, Schweiz beschrieben. Hier kann durch Synchronisierung der Pulsmuster ebenfalls eine signifikante 35 Reduktion des zu filternden Ripplestroms erreicht werden. Gelingt es, die Rippleströme zu verringern, so wird gleichzeitig auch der Wirkungsgrad des Systems gesteigert, da herkömm-

lich auch relativ viel Energie am Einspeise-Stromrichter des Kondensators in Verluste umgesetzt wird.

5 Daher ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Generator/Motor-System und ein Verfahren zur Betrieb dieses Motor/Generator-Systems auszubilden, bei/mit dem die zu kommutierenden Ströme im Pulswechselrichter auf einfache und kostengünstige Weise signifikant verringert werden können.

10 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Generator/Motor-System mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie ein Verfahren zum Betreiben dieses Generator/Motor-Systems mit den Merkmalen von Anspruch 8 gelöst.

15 Vorteilhaft ist es insbesondere, dass es durch die Aufteilung des Pulswechselrichters in zwei identische Pulswechselrichter jeweils halber Bauleistung möglich wird, das Generator/Motor-System sowohl in Sternschaltung als auch in Einzelstrangschaltung zu betreiben und dadurch eine gleichmäßige Strombelastung des Filters über einen weiten Bereich hinweg zu erhalten. Dadurch wird sowohl ein Spitzenstrom beim Starten als 20 auch eine Auslegung der Filter auf diese Spitzenbelastung vermieden, da in Sternschaltung nur in etwa die Hälfte der herkömmlichen Phasenströme kommutiert werden muss.

25 Diese und weitere Aufgaben, Vorteile und Merkmale der Erfindung werden aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung offensichtlich.

30 Dabei zeigen:

Fig. 1 ein Schaltbild eines erfindungsgemäßen Generator/Motor-Systems,

35 Fig. 2 eine Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik eines herkömmlichen Generator/Motor-Systems und eine äquiva-

lente Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik des erfin-
dungsgemäßen Generator/Motor-Systems und

Fig. 3 mit den Fig. 3A und 3B eine herkömmlichen Antriebsan-
lage sowie eine zugehörige Drehzahl-Drehmoment-
Charakteristik.

5

Fig. 1 zeigt ein Schaltbild eines erfindungsgemäßen Genera-
tor/Motor-Systems. Das erfindungsgemäße Generator/Motor-
System weist eine dreisträngige Drehfeldmaschine DM auf, de-
ren einzelne Generator-Phasenwicklungen bzw. Maschinenstränge
a, b und c mit einem ersten und einem zweiten Pulswechsel-
richter PWR1 und PWR2 verbunden sind. Der erste und der zwei-
te Pulswechselrichter PWR1 und PWR2 sind identisch ausgebil-
det und besitzen die identische Bauleistung. Jeder Pulswech-
selrichter PWR1 bzw. PWR2 besteht aus sechs elektronischen
Zweigschaltern S1 bis S6, die beispielsweise durch MOS-
Transistoren oder IGBT (Integrated-Gate-Bipolar-Transistoren)
gebildet und in drei Zweigpaaren in Reihe liegend und symmet-
risch angeordnet sind, und einem parallel zum Pulswechsel-
richter geschalteten Filterkondensator C1 bzw. C2. Durch die
Aufteilung in den ersten und zweiten Pulswechselrichter PWR1
und PWR2 können diese Filterkondensatoren C1 bzw. C2 bedeu-
tend kleiner gewählt werden, was sich vorteilhaft auf Baugrö-
ße und Verlustleistung auswirkt.

10

15

20

25

30

35

Zwischen den beiden Pulswechselrichtern PWR1 und PWR2 ist pa-
rallel zu den Maschinensträngen a, b, c ein elektronischer
Schalter S7 ausgebildet, über den eine positive Sammelschiene
des ersten Pulswechselrichters PWR1 mit der positiven Sammel-
schiene des zweiten Pulswechselrichters PWR2 verbindbar bzw.
davon trennbar ist. Dieser elektronische Schalter S7 kann, a-
ber muss nicht bidirektional sein. Als nicht bidirektionaler
Schalter kann für den Schalter S7 ein PowerMOS-Transistor mit
parasitärer Inversdiode verwendet werden.

35

Im folgenden wird nun unter Bezugnahme auf Fig. 1 das Funktionsprinzip des erfindungsgemäßen Generator/Motor-Systems erläutert.

5 Das erfindungsgemäße Generator/Motor-System gestattet zwei verschiedene Betriebsmodi.

1. Betrieb in Sternschaltung

10 In Sternschaltung sind die Zweigschalter S1, S2 und S3 geschlossen und die Zweigschalter S4, S5 und S6 sowie der elektronische Schalter S7 offen. Der Pulswechselrichter PWR1 bildet so einen Sternpunkt für die 3 abgebildeten Maschinenstränge a, b und c. Bei spannungseinprägenden Pulswechselrichtern PWR1 und PWR2 in Sechspulsbrückenschaltung springt das Potential des Sternpunkts in Abhängigkeit der eingeschalteten Spannungszeiger zwischen 1/3 und 2/3 der Spannung des Zwischenkreises. Bestehen die Schalter aus MOS, so kann die Inversdiode nicht aufgesteuert werden.

20 Da jetzt verglichen mit dem Stand der Technik nur der halbe Pulswechselrichter, nämlich der Pulswechselrichter PWR1 für die Stromführung zur Verfügung steht, bekommt die Drehfeldmaschine DM zum Ausgleich mehr Statorwindungen. Die Durchflutung, die das Drehmoment bestimmt, bleibt somit erhalten. Damit ergibt sich der Kennlinien-Ast 1 in Fig. 2. Es wird ein gleich großes Drehmoment realisiert, aber da nur die eine Hälfte der Schaltung an der Energieumsetzung teilnimmt, nämlich der Pulswechselrichter PWR1, muss auch nur etwa die 30 Hälfte der ursprünglichen Phasenströme kommutiert werden. Lässt man die gleiche Welligkeit der Zwischenkreisspannung zu, halbiert sich auch in etwa der Filteraufwand.

2. Betrieb in Einzelstrangschaltung („open delta“)

35 Natürlich wird aufgrund der annähernd doppelt so vielen Statorwindungen der Drehfeldmaschine DM die Aussteuergrenze des

Pulswechselrichters PWR1 bereits bei der halben Drehzahl gegenüber der Standard-Lösung erreicht. Dann wird der durch den Pulswechselrichter PWR1 gebildete Sternpunkt aufgelöst und das Generator/Motor-System in Einzelstrangschaltung betrieben. Dazu wird der elektronische Schalter 7 geschlossen und der Pulswechselrichter PWR1 derart angesteuert, dass jeder Strang eine eigene Halbbrücke erhält, d.h. es werden alle Zweigsschalter des ersten und des zweiten Pulswechselrichters PWR1 und PWR2 geschlossen. Durch diese Herabsetzung der Klemmenspannung auf ungefähr die Hälfte wird die Aussteuergrenze des erfindungsgemäßen Generator/Motor-Systems weiter zu höheren Drehzahlen hin verlagert. Es wird der selbe Bemessungspunkt realisiert. Ein Kennlinienast 2 der Kennlinie der erfindungsgemäßen Generator/Motor-Systems deckt sich dann ungefähr mit der einer Standard-Schaltung.

Somit ist das Ziel mit Hilfe der erfindungsgemäßen, umschaltbaren Generator/Motor-Systems erreicht. Durch die Umschaltung des Motor/Generator-Systems erfolgt eine Vergleichmäßigung der Strombelastung des Filters über einen weiten Bereich hinweg. Der Spitzenstrom beim Starten so wie die Auslegung der Filter auf diese Spitzenbelastung wird somit vermieden.

Das Umschalten von einem Betriebsmodus auf den anderen erfolgt erfindungsgemäß wirkungsgradoptimiert. Gezeigt sind in Fig. 2 nur die Maximal-Charakteristiken. Bei Teillast übernimmt eine Steuereinheit, die als Softwaremodul realisiert sein kann, wirkungsgradoptimiert den genauen, kennfeldabhängigen Umschaltpunkt. Da die Umschaltung stoßfrei geschieht, kann prinzipiell beliebig oft umgeschaltet werden.

Weiterhin ist es an der erfindungsgemäßen Schaltung vorteilhaft, dass mit dem Schalter S7 ein Teil der Kondensator-Ruheströme abgeschaltet werden kann.

Zudem ist die Zuverlässigkeit erhöht, da die Einzelstrangschaltung auch bei Asynchronmaschinen einen, allerdings etwas

eingeschränkten Betrieb gestattet, wenn ein elektronischer Schalter in dem Generator/Motor-System einen Fehler hat, wie beispielsweise Kurzschluss oder Trennung). Es kann dann immer noch ein Drehfeld aufgebaut werden, was bei einer Standard-
5 brückenschaltung mit 3 Phasen nicht möglich ist.

Außerdem ist der Wirkungsgrad erhöht, da die Verringerung der Rippleströme nicht nur in eine Verringerung der Filter insgesamt mündet, sondern auch zur Verringerung der Filterverluste
10 führt.

DaimlerChrysler AG

Gmeiner

26.07.2002

Patentansprüche

1. Elektrisches Generator/Motor-System, insbesondere zur Anwendung bei beweglichen Einheiten, Kraftfahrzeugen, Schiffen und dergleichen als Bordnetzgenerator und Starter, mit:

5 einer Drehfeldmaschine (DM) mit drei Generator-Phasenwicklungen (a, b, c) und

10 einem Pulswechselrichter mit einer vorbestimmten Maximal-Leistung, der mit den drei Generator-Phasenwicklungen (a, b, c) der Drehfeldmaschine (DM) verbunden ist,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass

15 der Pulswechselrichter in einen ersten und einen zweiten zueinander identischen Pulswechselrichter (PWR1, PWR2) der halben Maximal-Leistung aufgeteilt ist,

der erste und der zweite Pulswechselrichter (PWR1, PWR2) jeweils drei Zweigpaare (S1, S4; S2, S5; S3, S6) aufweisen,

20 jedes der drei Zweigpaare (S1, S4; S2, S5; S3, S6) mit einer zugehörigen der drei Generator-Phasenwicklungen (a, b, c) verbunden ist und aus wenigstens zwei gleichsinnig in Reihe liegenden, symmetrisch angeordneten elektronischen Zweigschaltern (S1 bis S6) besteht,

das Zweigpaar (S1, S4; S2, S5; S3, S6) über die Zweig-

25 schalter (S1 bis S6) an einer Gleichspannungsquelle an- liegt, wobei der Anschluss der Generator-Phasenwicklungen (a, b, c) zwischen einem Pol der Gleichspannungsquelle und dem Mittelpunkt des zugehörigen Zweigpaares (S1, S4; S2,

S5; S3, S6) erfolgt,

zu den Zweigpaaren (S1, S4; S2, S5; S3, S6) des ersten und des zweiten Pulswechselrichters (PWR1, PWR2) jeweils ein

30 Filterkondensator (C1, C2) parallel geschaltet ist und

ein elektronischer Schalter (S7) in einer den ersten Pulswechselrichter (PWR1) und den zweiten Pulswechselrichter (PWR2) mit einem positiven Pol der Gleichspannungsquelle verbindenden positiven Sammelschiene ausgebildet ist, über 5 den die positiven Sammelschienen der Pulswechselrichter (PWR1, PWR2) verbunden und voneinander getrennt werden können.

2. Elektrisches Generator/Motor-System nach Anspruch 1, 10 dadurch gekennzeichnet, dass der elektronische Schalter (S7) unidirektional ist.

3. Elektrisches Generator/Motor-System nach Anspruch 1, 15 dadurch gekennzeichnet, dass der elektronische Schalter (S7) ein PowerMOS-Transistor mit parasitärer Inversdiode ist.

20 4. Elektrisches Generator/Motor-System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der elektronische Schalter (S7) ein bidirektonaler Schalter ist.

25 5. Elektrisches Generator/Motor-System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Zweigschalter (S1 bis S6) PowerMOS-Transistoren mit parasitärer Inversdiode sind.

30 6. Elektrisches Generator/Motor-System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehfeldmaschine (DM) eine derart erhöhte Anzahl von

Statorwindungen besitzt, dass bei Zuschaltung von nur einem Pulswechselrichter (PWR2) eine Durchflutung erreicht werden kann, die einer Durchflutung bei Zuschaltung des gesamten Pulswechselrichters, d.h. des ersten und des 5 zweiten Pulswechselrichters (PWR1, PWR2) ohne Erhöhung der Anzahl von Statorwindungen entspricht.

7. Elektrisches Generator/Motor-System nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

10 dadurch gekennzeichnet, dass

weiterhin eine Steuereinheit vorgesehen ist, die bei Teillast wirkungsgradoptimiert einen kennfeldabhängigen Umschaltpunkt von einer Sternschaltungs-Betriebsart in eine 15 Einzelstrangschaltung durchführt.

8. Verfahren zum Betreiben eines Generator/Motor-Systems nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

gekennzeichnet durch die Schritte:

20 Betreiben des Generator/Motor-Systems in Sternschaltung durch Geschlossenhalten von der auf der Seite des positiven Pols der Gleichspannungsquelle angeordneten Zweig- schalter (S1 bis S3) des ersten Pulswechselrichters (PWR1) und Offenhalten sowohl der auf der Seite des negativen Pols der Gleichspannungsquelle angeordneten Zweig- 25 schalter (S4 bis S6) als auch des elektronischen Schalters (S7) sowie aller Zweig- schalter des zweiten Pulswechselrichters (PWR2);

30 Erfassen der Drehzahl der Drehfeldmaschine (DM) und Ermitteln eines kennfeldabhängigen Umschaltpunkts;

am ermittelten Umschaltpunkt Umschalten des Generator/Motor-Systems auf Betrieb in Einzelstrangschaltung durch die Steuereinheit durch Schließen des elektronischen Schalters S7 und Ansteuern des ersten Pulswechselrichters 35 derart, dass jede Generator-Phasenwicklung (a, b, c) ihre eigene H-Brücke erhält, d.h. indem alle Zweig- schalter des ersten und zweiten Pulswechselrichters (PWR1, PWR2) ge-

schlossen werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

5 dass

das Ermitteln des Umschaltpunkts wirkungsgradoptimiert er-
folgt.

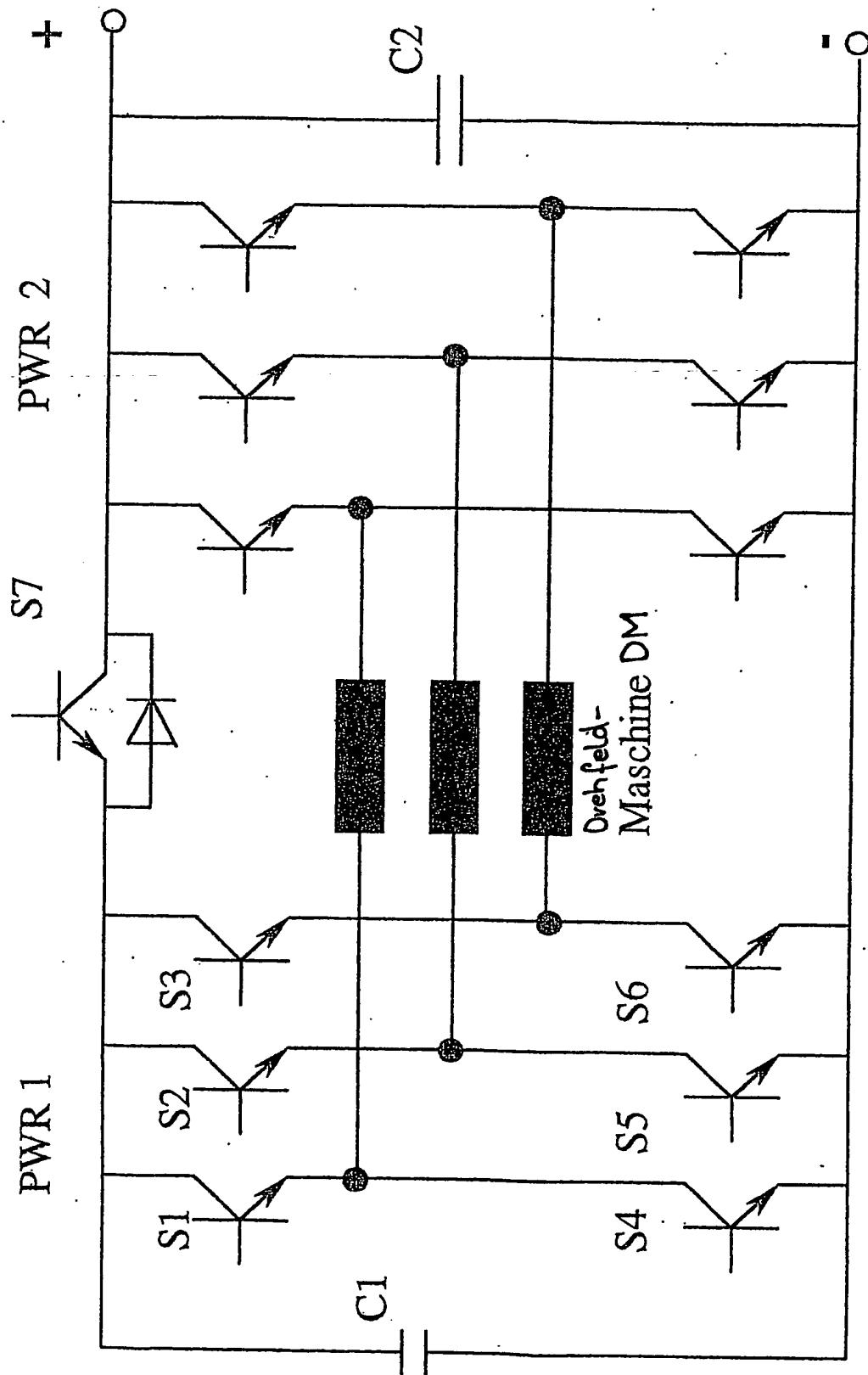


Fig. 1

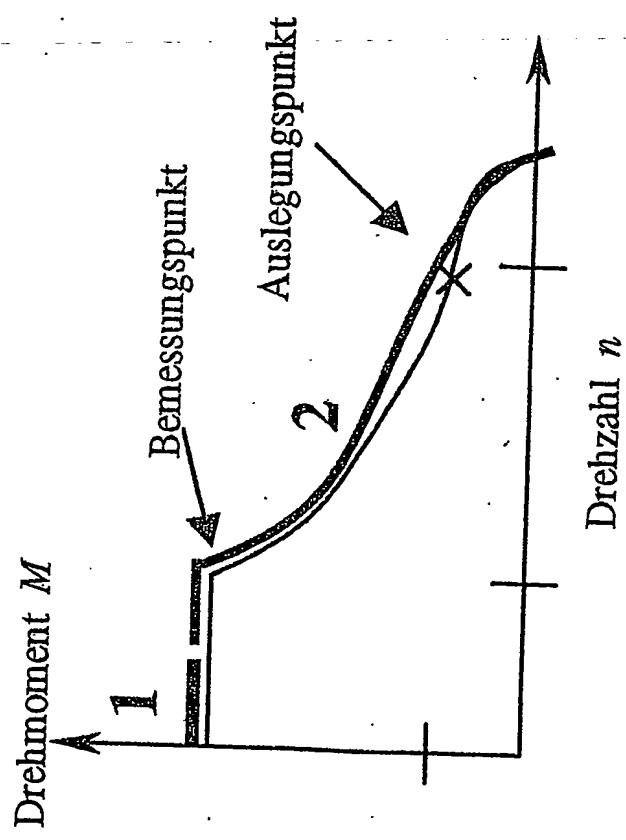


Fig. 2

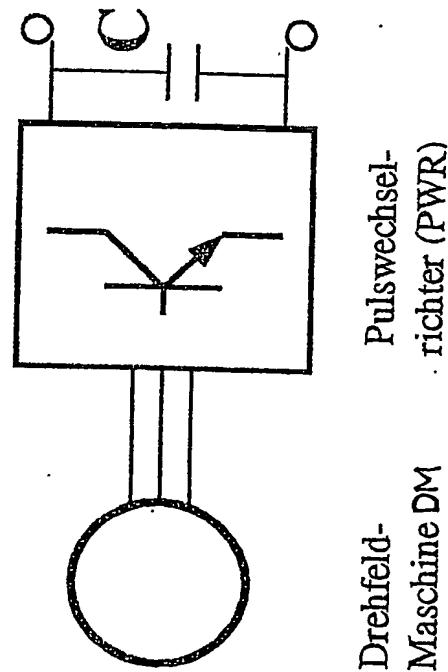
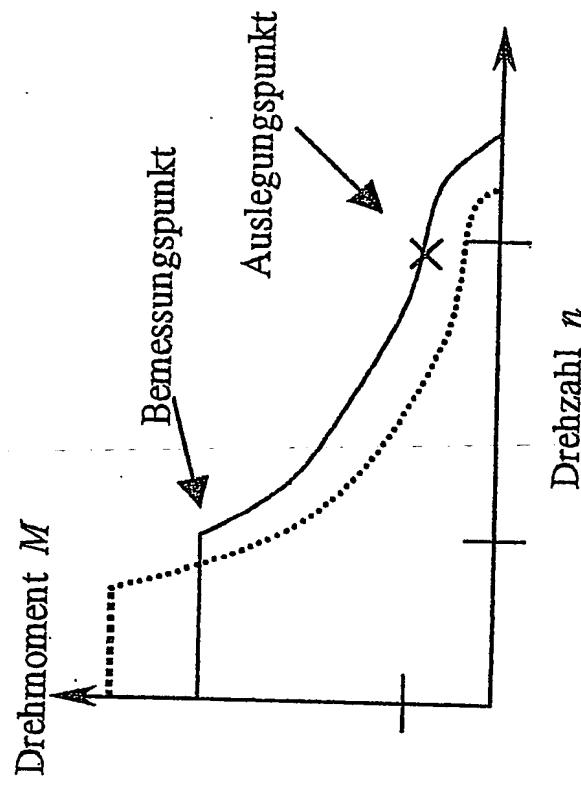


Fig. 3a

Fig. 3b

DaimlerChrysler AG

Gmeiner

26.07.2002

Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Generator/Motor-System und ein Verfahren zur Betreiben dieses Generator/Motor-Systems, mit dem die Filterströme verringert werden. Das Generator/Motor-System weist dazu eine Drehfeldmaschine (DM) sowie einen Pulswechselrichter und Filterkondensatoren (C1, C2) auf. Der Pulswechselrichter wird in der erfindungsgemäßen Ausführungsform durch zwei identische, jeweils die halbe Bau-
leistung aufweisende Pulswechselrichter (PWR1, PWR2) gebildet. Im Betrieb erfolgt je nach erforderlicher Drehzahl eine Umschaltung zwischen einer Sternschaltung, in der lediglich der erste Pulswechselrichter in Betrieb ist, und einer Einzelstrangschaltung, in der beide Pulswechselrichter in Betrieb sind. Um ein dem Stand der Technik vergleichbares Drehmoment zu erhalten, auch wenn nur einer der beiden Pulswechselrichter verwendet wird, weist die Drehfeldmaschine ungefähr die doppelte Anzahl von Statorwindungen auf.

20 (Fig. 1)

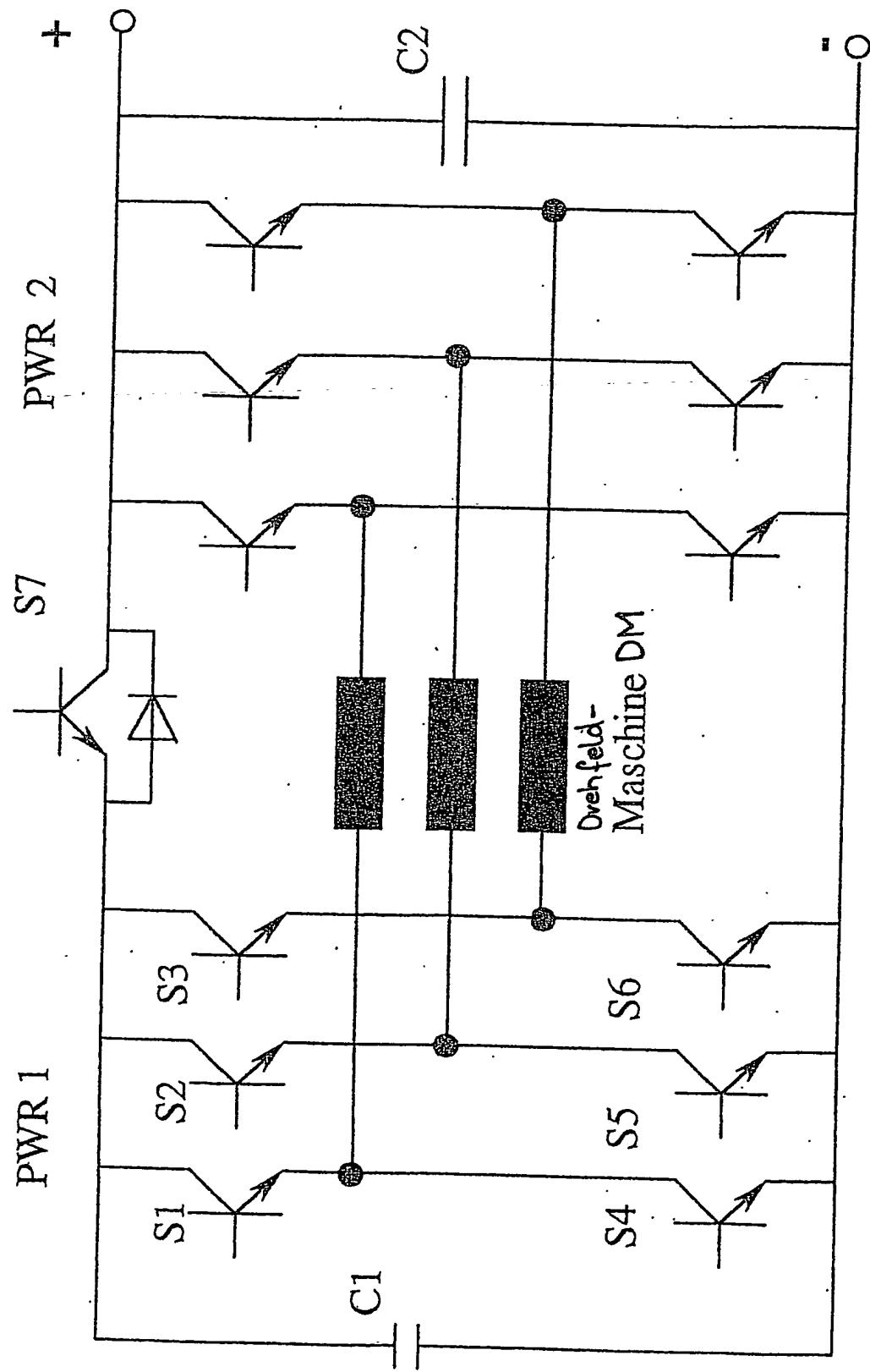


Fig. 1